

УДК –541.64:535.3:539.199  
ББК 22.365

**ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ПОЛИМЕРНО-  
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ  
КОМПОЗИТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ  
ВНЕШНЕГО ПОЛЯ**

*Рахимова Умедахон Джурабоевна - старший преподаватель кафедры информационно-коммуникационных технологий и программирования ТГУПБИ (Таджикистан, Худжанд), e-mail: [rakhimova0508@mail.ru](mailto:rakhimova0508@mail.ru).*

**ХОСИЯТХОИ ЭЛЕКТРООПТИКИИ  
КОМПОЗИТХОИ ПОЛИМЕРИИ-МОЕ-  
КРИСТАЛЛИ ДАР ЗЕРИ ТАЪСИРИ  
МАЙДОНИ БЕРУНИ**

*Рахимова Умедахон Ҷӯрабоевна - муаллими калони кафедраи технологияҳои иттилоотию коммуникатсионӣ ва барномарезии ДДҲБСТ (Тоҷикистон, Хуҷанд), e-mail: [rakhimova0508@mail.ru](mailto:rakhimova0508@mail.ru).*

**ELECTRO-OPTICAL PROPERTIES OF  
POLYMER-LIQUID-CRYSTALLINE  
COMPOSITES UNDER THE ACTION OF AN  
EXTERNAL FIELD**

*Rahimova Umedakhon Juraboevna - Senior Lecturer of the of Information and Communication Technologies and Programming department under the Tajik State University of Law, Business and Politics, e-mail: [rakhimova0508@mail.ru](mailto:rakhimova0508@mail.ru).*

**Ключевые слова:** полимер, композит, жидкий кристалл, рассеяние света, лазер, переориентация.

*Исследован композиционный материал - диспергированный полимером нематический жидкий кристалл электрооптическим методом. Установлено, что под действием поля изменяется светорассеяние и двулучепреломление исследуемых образцов. Предложенный состав композиционного материала может быть использован в устройствах управления оптическим излучением.*

**Вожаҳои калидӣ:** полимер, композит, кристалли моеъ, пароканиши рӯшноӣ, лазер, самтдигаркунӣ

*Маводи композитии полимерӣ, ки бо қатраҳои кристалли моеъ диспергиронида шудааст, бо методи электрооптикӣ тадқиқ карда шуд. Муқаррар карда шуд, ки таҳти таъсири майдони электрикӣ эффекти рӯшноигузaronӣ ва шиканиши дучандаи намунаҳои тадқиқ шуда дигаргун мегардад. Таркиби фоизи компонентаи композит пешниҳод шуда, соҳаи истифодабарии натиҷаҳо барои идоракунии афканишоти оптикӣ дар таҷҳизотҳои оптоэлектронӣ тавсия дода шудааст.*

**Key words:** polymer, composite, liquid crystal, light scattering, laser, reorientation.

*A composite material - a nematic liquid crystal dispersed by a polymer - was studied by the electro-optical method. It has been established that under the action of the field, the light scattering and birefringence of the samples under study change. The proposed composition of the composite material can be used in devices for optical irradiation control.*

Нематические жидкие кристаллы (НЖК) привлекают внимание исследователей не столько благодаря их использованию в мониторах компьютеров и экранах плоских телевизоров, сколько в оптоэлектронике и фотонике для управления оптическим излучением. Тем не менее, в обоих случаях, главным недостатком жидких кристаллов (ЖК) остаются их высокие реологические свойства. Поэтому, вопрос создания композиционных материалов, сохраняющих оптические и электрооптические свойства ЖК без учета их реологических свойств, несмотря на многочисленные научные достижения в данном направлении, все еще остается в младенческом состоянии. Одним из вариантов решения данного вопроса считается формирование жидкокристаллических композитов на

основе линейной полимерной матрицы, в объем и на поверхность которого внедряются микроскопических размеров капли НЖК [1]. За счет многообразия размера и форм капли НЖК в объеме полимера ориентация директора (преимущественная ориентация молекул жидкого кристалла вдоль конкретной оси) в каждой микроскопической области будут разными, в результате данный композит сильно рассеивает световое излучение, падающий перпендикулярно к поверхности пленки [2]. Под влиянием внешнего поля (электрическое, магнитное, световое, механическое) происходит быстрое переориентация директора и внутри капель формируется биполярная конфигурация, способствующая пропуску светового излучения.

Целью данной работы является теоретико-экспериментальным способом определить предельное напряжение ( $U_F$ ), а также выяснить характер зависимости времени включения ( $\tau_{off}$ ) и выключения ( $\tau_{on}$ ) электрооптического эффекта под действием управляющего электрического полимерно-жидкокристаллического композита.

Для изготовления композитов применяли нематические жидкие кристаллы (НЖК) 4-*n*-пентил-4'-цианобифенил (5СВ) из серии алкил-цианобифенилов. Данный объект имеет следующую последовательность фазовых переходов: Кр(-65°C) - ЖК(22,5°C) - ИЖ(35,5°C). При комнатной температуре ( $T=22^\circ\text{C}$ ) и длине волны  $\lambda=0,633$  мкм величины показателя преломления НЖК 5СВ для обыкновенного и необыкновенного светового излучения равны соответственно  $n_{||}=1.717$  и  $n_{\perp}=1.531$  [3]. Полимерным связующим служил линейный поливиниловый спирт (ПВС) с величиной показателя преломления  $n_p=[1.49-1.53]$  в зависимости от мономерного звена при той же температуре, как и в случае с 5СВ [3]. Это позволяло удовлетворять условию  $n_{\perp} \approx n_p$ .

Измерения электрооптических параметров, а также изменения структуры капель нематика в полимерно-жидкокристаллическом композите проводили по стандартной схеме [4]. Обнаружили, что после охлаждения смеси композита до комнатной температуры ( $T=23^\circ\text{C}$ ) раствор становится мутным, что свидетельствует о появлении неоднородной текстуры НЖК 5СВ при переходе от кристаллической фазы в нематическую. Под действием внешнего управляющего поля, которое направлено ортогонально плоскости пленки исследуемого композита, форма и размеры рассеивающих участков сокращаются. Тем самым, в структуре пленки формируется однородная гомеотропная ориентация молекул НЖК 5СВ. Поскольку анизотропия диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_a$ ) исследуемых нами НЖК 5СВ положительна, т.е.  $\epsilon_a > 0$ , то управляющее электрическое поле способствует переориентацию молекул НЖК вдоль напряженности поля ( $E$ ).

Из полученных экспериментальных результатов определили пропускание светового излучения по формуле

$$T = \frac{I_{\max}}{I_0} \quad (1)$$

где  $I_{\max}$  – максимальная интенсивность прошедшего излучения для заданного напряжении.

В случае приложения электрического поля к планарному слою НЖК 5СВ, оптический параметр разности фаз ( $\Delta\varphi$ ) для обыкновенного и необыкновенного светового излучения от времени будет уменьшаться степенным законом:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_{off}}\right) \quad (2)$$

здесь  $\tau_{off}$  – время выключения, которое определяется по следующей формуле:

$$\tau_{off} = \frac{4\pi\gamma_1 \cdot d^2}{\epsilon_a (U^2 - U_F^2)} \quad (3)$$

где  $\gamma_1$  – вращательная вязкость;  $d$  – толщина композитной пленки;  $U_F$  – пороговое напряжение Фредерикса.

В процессе расчета мы предполагали, что интенсивность рассеянного светового излучения при прохождении через слой композита, будет зависеть от времени по формуле (3). Однако экспериментальные данные, рассчитанные по формуле (1) не подтвердили нашу гипотезу. Следовательно, нарушенная ориентация длинных молекул НЖК 5СВ в результате приготовления пленочных композитов из смеси способствует, чтобы директор нематика ориентировался под определенным начальным углом наклона  $\alpha$  относительно плоскости слоя. С учетом вышеизложенного, уравнение движения директора под действием управляющего электрического поля записываем в виде:

$$\gamma_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \frac{\varepsilon_a E^2}{8\pi} \cdot \sin 2(\alpha + \theta) \quad (4)$$

здесь  $\theta$  – угол поворота директора относительно напряженности поля;  $K$  – константа упругости НЖК 5СВ (постоянная Юнга);  $E$  – напряженность электрического поля. Для удобства расчета, можно не учитывать взаимодействие капли нематика с пограничными слоями полимерной матрицы, соответственно, учитывая обратной пропорциональности энергии сцепления с коэффициентом упругости ( $W=1/K$ ), можно переписать уравнение (4) в более упрощенном виде:

$$\gamma_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\varepsilon_a E^2}{8\pi} \cdot \sin 2(\alpha + \theta) \quad (5)$$

которое легко интегрируется. С учетом начальных условий  $\theta=0$  при  $t=0$  решению уравнению (5) можно записать в окончательном виде

$$\theta = \arctg \left( \exp \left( \frac{t}{\tau_{on}} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha \right) - \alpha \quad (6)$$

где

$$\tau_{on} = \frac{4\pi\gamma_1 d^2}{\varepsilon_a U^2} \quad (7)$$

называется временем включения.

Сравнивая уравнений (3) и (7), видим, что для величины времени включения отсутствует пороговое напряжение Фредерикса, следовательно, процесс переориентации директора является беспороговым. Поскольку задача управления рассеяния светового излучения с помощью электрического поля для полимерно-жидкокристаллических композитов чрезмерно сложна [5], поэтому с учетом формулы (2) и (6) для интенсивности падающего светового излучения запишем следующее уравнение:

$$I = C_1 \frac{2}{\pi} \arctg \left( C_2 \exp \left( \frac{t}{\tau_{off1}} \right) \right) + C_3 \left( 1 - \exp \left( -\frac{t}{\tau_{off2}} \right) \right) \quad (8)$$

здесь  $C_1, C_2, C_3$  – физические параметры, необходимые для сравнении функции (6) с экспериментальными результатами. Расчетные данные показали, что при минимальных значениях электрического напряжения наблюдается только одного время включения –  $\tau_{off,1}$ , а при больших значениях напряжения, их становится два:  $\tau_{off,1}$  и  $\tau_{off,2}$ .

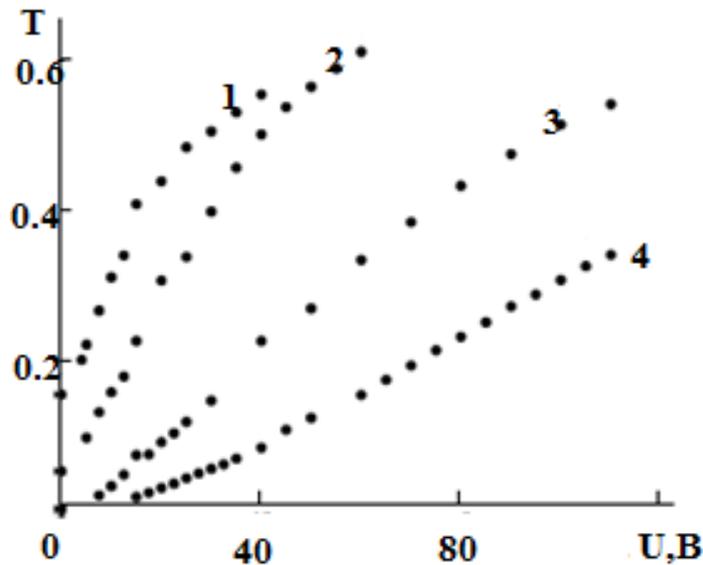


Рис. 1 Зависимость светопропускания  $T$  от приложенного напряжения  $U$  для композитных пленок толщиной 10 (1), 20 (2), 35 (3) и 50 мкм (4)

Результаты численного расчета полученных данных, иллюстрированы на рис. 1 в виде зависимости пропускания  $T$  светового излучения от приложенного электрического напряжения  $U$  для композитных полимерных пленок с содержанием НЖК 5СВ. Видно, что с уменьшением толщины композитной пленки, величина светопропускания ( $T$ ) уменьшается. Данный экспериментальный факт свидетельствует об уменьшении количества рассеивающих областей в тонкой пленке. С другой стороны, с ростом величины электрического напряжения значение светопропускания ( $T$ ) пленок переходит к стадии насыщения. Соответственно, оба времени включения также уменьшаются при увеличении напряжения и далее переходят на насыщения. Данное обстоятельство согласуется с тем, что слагаемое, связанное с  $\tau_{\text{off},1}$  в уравнении (8) свидетельствует о наклонной ориентации директора в нематическом слое. Сопоставительный анализ экспериментальных данных с расчетными результатами по формуле (3) показали, что пороговое напряжение имеет значение  $U_F = 6,2$  В, а коэффициент пропорциональности  $6,4 \cdot 10^{-4} \text{мс}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ . Если учесть, что в [6] были получены следующие числовые значения диэлектрической анизотропии  $\epsilon_a = 10$  и вращательной вязкости  $\gamma_1 = 1$  г/см·с, то с учетом толщины композитной пленки для нашего случая  $d=40$  мкм, мы получили значения  $4,4 \cdot 10^{-4} \text{мс}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ . Это свидетельствует о хорошем совпадении полученных экспериментальных и расчетных результатов.

Таким образом, характер светопропускания композитных пленок при действии управляющего электрического поля двоякое – пороговое и беспороговое. Следовательно, в исследованном нами композите имеет место две области НЖК, одна из которых ориентирована планарно, а другая имеет некоторый угол наклона с плоскостью нематического слоя, проявляющейся в результате действия электрического поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Drzaic P.S. Liquid Crystal Dispersions. Singapore: World Science, 1995 –346 p.
2. Прищепа О.О., Бурина А.В., Крахалев М.Н., Лойко В.А., Зырянов В.Я. Анизотропия рассеяния света в одноосно вытянутых пленках капсулированного полимером нематического жидкого кристалла. //Известия РАН, Серия физическая. 2017. Т.81. №5. – с.656-659
3. Зырянов В.Я., Эпштейн В.Ш. Измерение показателей преломления жидкого кристалла с использованием перестраиваемого источника когерентного инфракрасного излучения. //Приборы и техника эксперимента. 1987, №2. –с.164-168
4. Sutormin V.S., Krachalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Electrically induced anchoring transition in nematics with small zero dielectric anisotropy. //Liquid Crystals, 2017, V. 44, №3 – p. 577-581
5. Wu P.C., Chen H.L., Lee W., Rudacova N.V., Timofeev I.V., Zyryanov V.Ya. Electro-optical and dielectric properties of polymer stabilized blue phase liquid crystal impregnated with a fluorine-containing compound. //J. Molec. Liquids. 2018. V.167. – p.138-143
6. Блинов Л.М. Рассеяние и усиление света в слое нематического жидкого кристалла. //Письма в ЖЭТФ. 2008, т. 88, вып. 3. – с.189-193

#### REFERENCES

1. Drzaic P.S., Liquid Crystal Dispersions. Singapore, World Science, 1995–346 p.
2. Prishchepa O.O., Burina A.V., Krachalev M.N., Loiko V.A., Zyryanov V.Ya. Anisotropy of light scattering in uniaxially drawn films of a polymer-encapsulated nematic liquid crystal. //Proceedings of the Russian Academy of Sciences, Physical series. 2017. V.81. No. 5. – p.656-659.
3. Zyryanov V.Ya., Epshtein V.Sh. Measurement of the refractive indices of a liquid crystal using a tunable source of coherent infrared radiation. //Instruments and technique of experiment. 1987, No. 2. - p.164-168
4. Sutormin V.S., Krachalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Electrically induced anchoring transition in nematics with small zero dielectric anisotropy. // Liquid Crystals, 2017, V. 44, No. 3 - p. 577-581
5. Wu P.C., Chen H.L., Lee W., Rudacova N.V., Timofeev I.V., Zyryanov V.Ya. Electro-optical and dielectric properties of polymer stabilized blue phase liquid crystal impregnated with a fluorine-containing compound. //J. Molec. liquids. 2018. V.167. – p.138-143
6. Blinov L.M. Scattering and amplification of light in a layer of a nematic liquid crystal. // Letters to ZhETF. 2008, v. 88, no. 3. 189-193 p.